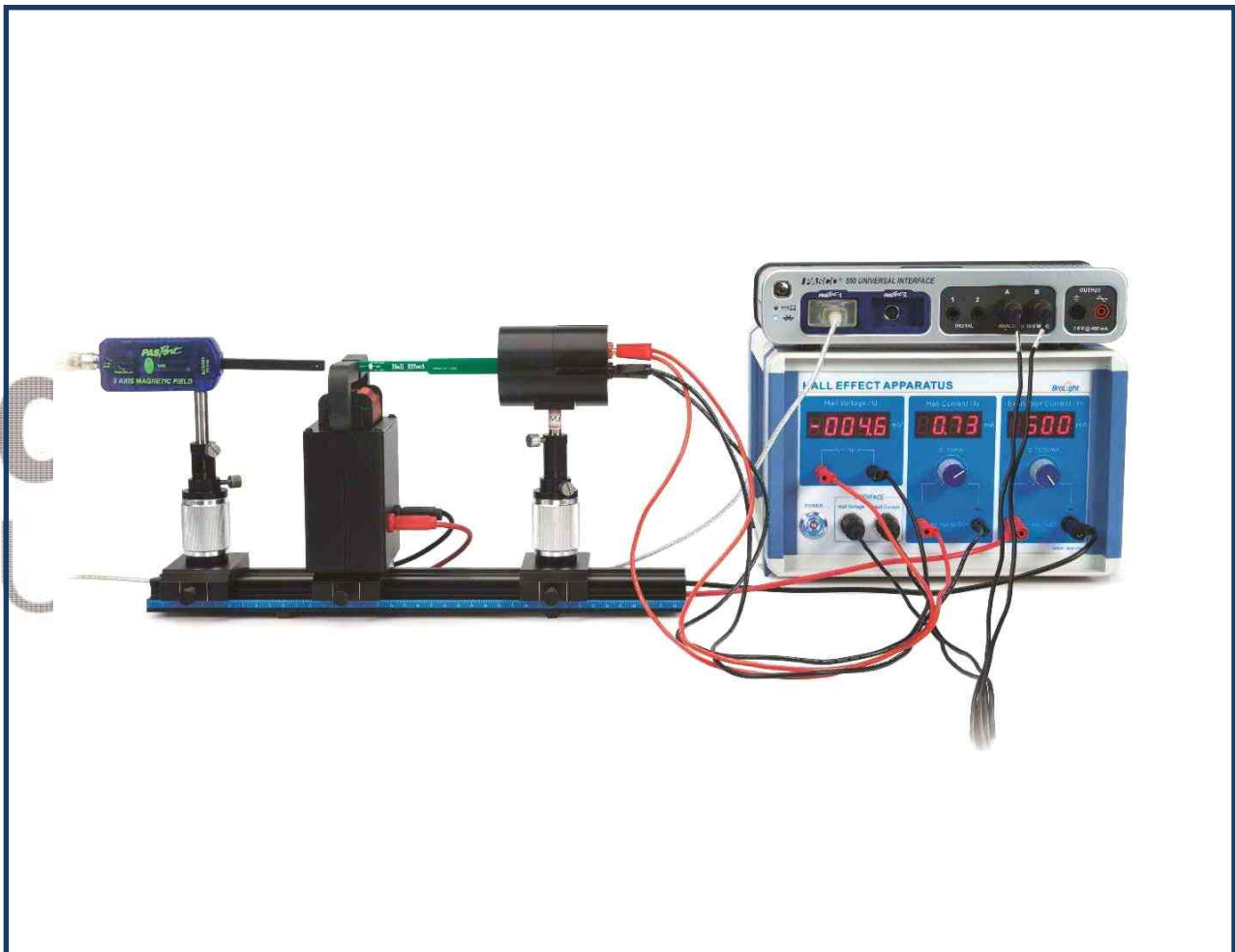
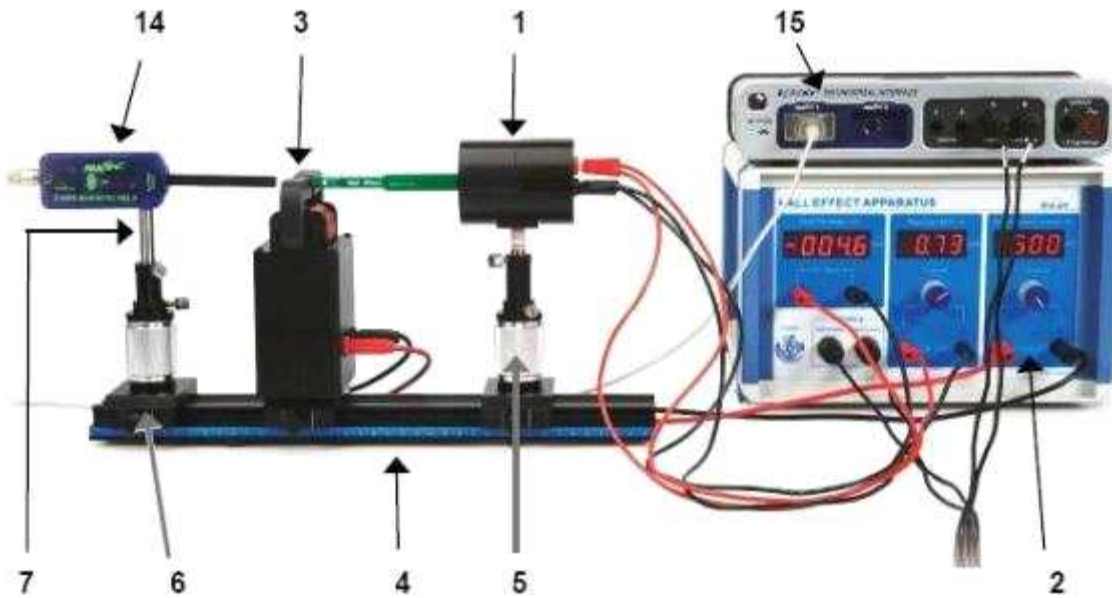


# 8. 홀 효과



장비 구성



EX-5560 Hall Effect Experiment

1.	Hall probe, n-semiconductor (n-GaAs)	1
2.	Hall Effect Apparatus	1
3.	U-Core Electromagnetic Coil, 1A, 1000 turns	1
4.	Track, 400 mm	1
5.	Adjustable Post Holder, 25 mm	2
6.	Optical Carrier, 50 mm	2
7.	Post, 90 mm	2
8.	Power Cord	1
9.	Connecting Cable, red, 1 m	1
10.	Connecting Cable, black, 1 m	1
11.	Connecting Cable, banana plug, red, 0.8 m	2
12.	Connecting Cable, banana plug, black, 0.8 m	2
13.	PS-2162 2-Axis Magnetic Field Sensor	1
14.	User's Manual	1

Required:

UI-5000/UI-5001	850 or 550 Universal Interface	1
PASCO	Capstone Software	1

**안전 정보**

**⚠ 주의! : 감전이나 부상을 방지하려면 다음 지침을 따라야 한다.**

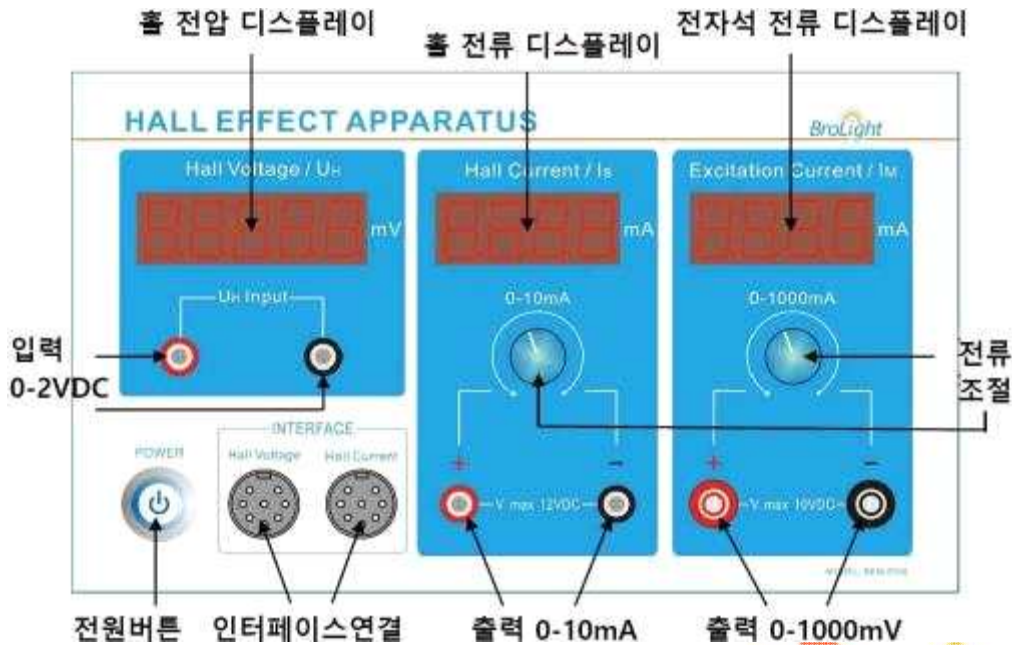
- 젖은 행겜으로 장비를 닦지 않는다.
- 사용 전 장치가 손상되지 않았는지 확인한다.
- 전원 코드 접지 기능을 확인한다.
- 접지 된 콘센트에 연결한다.
- 제조업체가 명시하지 않은 방식으로 제품을 사용하지 않는다.
- 대체 부품을 설치하거나 제품을 무단으로 개조하지 않는다.
- 전선 및 전류 보호 퓨즈 : 화재에 대한 지속적인 보호를 위해 전선 퓨즈 및 전류 보호 퓨즈는 지정된 유형 및 정격의 퓨즈로만 교체한다.
- 주전원 및 테스트 입력 해체 : 점검을 받기 전 벽면 콘센트에서 장비의 플러그를 뽑고 전원 코드를 제거한 다음, 모든 단자로부터 모든 프로브를 제거한다. 공인 된 점검 기술자만이 장비에서 덮개를 제거해야 한다.
- 장비가 손상된 경우에는 사용하지 않는다. 장비를 사용하기 전에 케이스를 검사한다. 커넥터를 감싸는 절연체에 특히 주의해야 한다.
- 비정상적으로 작동하는 경우 장비를 사용하지 않는다. 보호 기능이 손상되었을 수 있다. 의심스러운 경우 장비를 점검받아야 한다.
- 폭발성 가스, 증기 또는 먼지가 있는 장소에서 장비를 작동하지 않는다. 젖은 환경에서 사용해서는 안된다.
- 장치의 단자, 단자와 접지 사이에 표기되어있는 정격 전압 이상을 인가해서는 안된다.
- 장비를 수리할 때는 지정된 부품만 사용해야 한다.
- 30V AC rms, 42V Peak 또는 60V DC 이상의 전압으로 작업 할 때는 주의해야 한다. 이러한 전압은 감전의 위험 이 있다.
- 감전을 방지하려면, 노출된 전도체에 손이나 피부에 닿지 않도록 한다.
- 지역 및 국가 안전 규정을 준수한다. 위험한 도체가 노출된 경우, 감전 및 폭발 사고를 예방하려면 개별 보호 장비를 사용해야 한다.
- 기타 위험 : 입력 단자가 위험한 전위에 연결되면, 다른 모든 단자에 이 전위가 발생할 수 있다.

**일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지**

전기 기호			
~	교류	CE	EU 안전 기준 준수
≡	직류	⊗	WEEE, 폐전기전자제품
⚠	주의, 위험, 사용 전 설명서를 참조하십시오.	⚡	퓨즈
⚡	주의, 감전 위험		전원 켜
⏚	접지 단자	○	전원 끄
⏚	보호 도체 단자	⏏	양방향 안정 컨트롤 인
⏚	새시 접지	⏏	양방향 안정 컨트롤 아웃

**일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지**

홀 효과 실험 장치



- 전원 버튼 : 장비의 전원을 켜거나 끈다.
- 전류 조절 : 전자석에 공급되는 전류를 조절한다.
- 입력 : 홀 프로브에 연결되어 홀 전압 (0 ~ 2V DC)을 읽는다.
- 홀 전류 출력 : 반도체를 통해 흐르는 전류를 조정한다.
- 여기 전류 출력 : 전자석을 통과하는 전류를 조정하여 자기장의 세기를 변화시킨다.
- 디스플레이 : 전류 또는 전압 수치를 표시한다.
- 인터페이스 : PASCO 550 또는 850 통합 인터페이스에 연결하여 데이터를 수집한다.

참고 : 코드 또는 케이블을 연결하기 전에 전원 공급 장치의 두 스위치가 모두 OFF 위치에 있는지 확인 한다.



110-120V ~ / 220-240 ~  
 사용하는 AC전압에 따라 설정이 올바른지  
 반드시 확인하도록 한다.

실험 목표

홀 효과(Hall Effect)란 도체가 자기장 속에 놓여있을 때 그 자기장에 직각 방향으로 전류가 흐르면, 자기장과 전류 모두에 수직인 방향으로 전위차(홀 전압)가 발생하는 현상이다. 1879년 Edwin Hall에 의해 발견되었다.

홀 전압의 크기는 전하 밀도에 의존하므로, 반도체에서의 전압은 순수한 금속 도체에서보다 더 크다. 이 실험에서는 n-도핑 저마늄(Germanium, Ge) 반도체를 사용한다. 또한 홀 전압의 크기는 자기장의 세기에 따라 달라진다. 현대 전자 공학에서, 홀 효과는 자기장의 세기와 방향을 측정하는데에 이용된다.

기본 이론

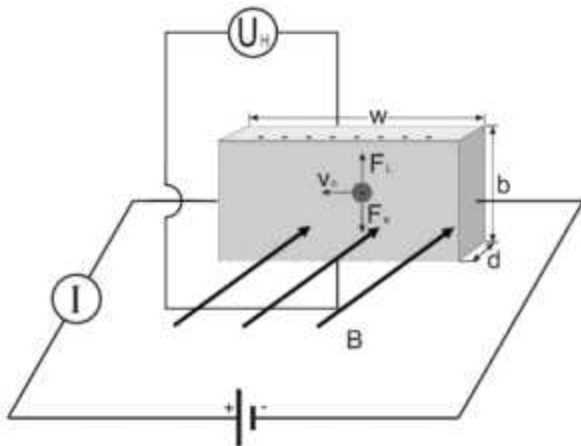


그림 1a

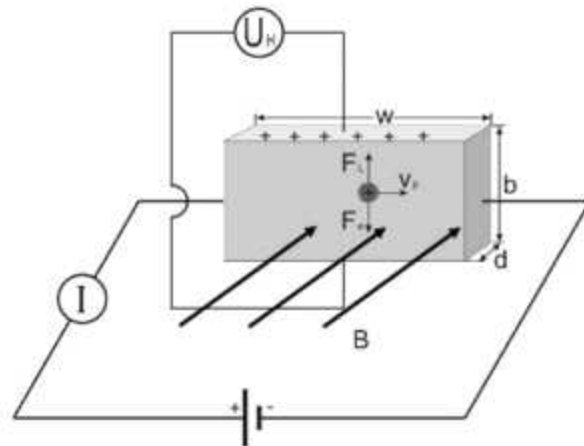


그림 1b

그림 1: 두께  $d$ , 높이  $b$ , 길이  $w$ 인 직사각형 샘플에서의 홀 효과. 평형 상태에서, 이동하는 전하 운반자에 작용하는 로런츠힘은 홀 효과의 전기장에 의한 전기력과 균형을 이룬다.

홀 효과는 금속 또는 도핑된 반도체에서 전하 수송의 극히 작은 매개변수들을 결정하기 위한 연구의 중요한 실험적 방법이다.

이 실험에서 홀 효과를 조사하기 위하여, 직사각형의 n-도핑 반도체 조각을 균일한 자기장  $B$ 의 영역에 놓는다. 전류  $I$ 가 직사각형 샘플을 흐를 때, 홀 효과에 의한 전압(홀 전압)이 자기장  $B$ 와 전류  $I$ 에 직각을 이루도록 형성된다.

홀 효과 실험은 전류의 흐름에서 전하 운반자의 부호를 결정한다. 전류는 한 방향으로 움직이는 음전하(그림 1a) 또는 그 반대 방향으로 움직이는 양전하(그림 1b)로 생각할 수 있다. 그것이 실제로 어떤 것

인지 확인하기 위하여, 반도체를 전류의 방향과 교차하는 자기장의 영역에 놓는다. 움직이는 전하는 로런츠힘  $\vec{F}_L$ 을 받게 된다.

$$\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$$

반도체의 한쪽 면에 전하가 쌓여 (전기장이 발생하고), 그 결과 쿨롱 힘이 형성된다.

$$\vec{F}_e = q\vec{E}$$

전기장의 방향은 전하 운반자의 부호에 의존할 것이며, 반도체 양단의 홀 전압의 극성은 이 부호를 나타낸다. 또한 전하가 움직이는 방향과 자기장의 방향이 수직이다. 이때 평형 상태에서, 로런츠힘의 크기는 쿨롱 힘의 크기와 같다.

$$qvB = qE \quad (1)$$

여기서  $q$ 는 전하 운반자의 전하량,  $v$ 는 전하 운반자의 표류 속도,  $B$ 는 자기장의 세기,  $E$ 는 유도 전기장의 세기이다.

전하 운반자의 표류 속력은 반도체를 통하여 흐르는 전류와 관련이 있다.

$$I = \frac{\text{charge}}{\Delta t} = \frac{(\text{Volume Charge Density})(\text{Volume})e}{\Delta t} = \frac{n(bdw)e}{\Delta t}$$

이때  $n$ 은 단위 부피당 전하량이다.

그림 1에서 볼 수 있듯 표류 속력은  $v = w/\Delta t$ 이므로 이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v = \frac{I}{nbde} \quad (2)$$

그리고 위 표류 속력을 식 (1)에 대입하고 전기장에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$E = \frac{IB}{nbde} \quad (3)$$

그런데 전기장은 홀 전압  $U_H$ 와 관련이 있다.

$$E = \frac{U_H}{b} \quad (4)$$

이를 식 (3)에 대입하고 홀 전압에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$U_H = \frac{IB}{nde} \quad (5)$$

$$U_H = \frac{R_H IB}{d} \quad (6)$$

여기서  $R_H$ 는 물질 및 온도에 따라 달라지는 홀 계수( $=1/nc$ )이다.

약한 자기장에 대한 평형 상태(그림 1)에서 홀 계수  $R_H$ 는 전하 밀도(운반자 농도)와 전자 및 양공의 이동도에 대한 함수로 나타낼 수 있다.

$$R_H = \frac{p\mu_p^2 - n\mu_n^2}{e(p\mu_p + n\mu_n)^2} \quad (7)$$

$e = 1.602 \times 10^{-19} C$  (기본 전하)

$n$  : 전자의 밀도

$p$  : 양공의 밀도

$\mu_p$  : 양공의 이동도

$\mu_n$  : 전자의 이동도

이동도  $\mu$ 는 전하 운반자와 결정격자 사이 상호작용의 척도이며, 다음과 같이 정의된다.

$$\mu = \frac{v}{E_o} \quad (8)$$

$v$  : 입자의 표류 속도

$E_o$  : 전압 강하에 의한 전기장

전기장  $E_o$ 는 전압 강하  $U_o$ 와 n-반도체 조각의 길이  $w$ 에 의해 결정될 수 있다.

$$E_o = \frac{U_o}{w} \quad (9)$$

표류 속도  $v$ 는 평형 상태에서부터 결정될 수 있는데, 평형 상태에서는 로런츠힘이 홀 전기장에 의한 전기력을 상쇄한다(그림 1). 이는 식 (1)로부터 도출된다.

$$v = \frac{U_H}{bB} \quad (10)$$

식 (9)와 (10)을 식 (8)에 대입하면, 실온에서의 전자 이동도  $\mu_n$ 을 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\mu_n = \frac{U_H w}{bBU_o} \quad (11)$$

장비 설치

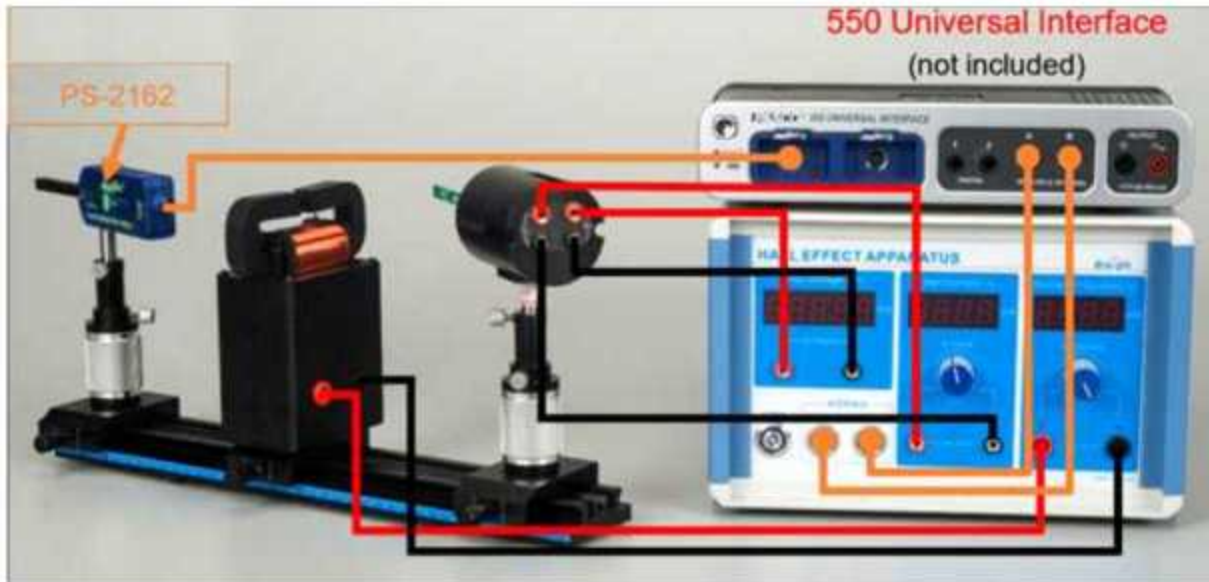


그림 2 홀 효과 실험 장치 설치

참고 : 코드 또는 케이블을 연결하기 전에 인터페이스 및 전원 공급 장치의 모든 스위치가 모두 OFF 위치에 있는지 확인한다. 또한 전류 조절 손잡이가 반시계 방향으로 완전히 돌려져 있는지 확인한다.

1. 스틸 막대(포스트)를 홀 프로브 장치에 나사로 고정한다. 광학 캐리어에 조절 홀더를 고정한다. 포스트를 조절 홀더에 꽂는다.
2. 전자석을 홀 효과 장치에 있는 Excitation Current( $I_m$ )로 표시된 바나나 잭에 연결한다.
3. 홀 효과 프로브의 뒷면에 있는  $I_H$ 로 표시된 포트를 홀 효과 장치의 Hall Current( $I_H$ )로 표시된 바나나 잭에 연결한다.
4. 홀 효과 프로브의 뒷면에 있는  $U_H$ 로 표시된 포트를 홀 효과 장치의 Hall Voltage( $U_H$ )로 표시된 바나나 잭에 연결한다.
5. 스틸 막대를 2축 자기장 센서에 연결한 다음, 트랙 위의 광학 캐리어에 설치한다.
6. PASPORT 센서 연장 케이블(PS-2500)을 이용하여 2축 자기장 센서(PS-2162)를 550 또는 850 인터페이스의 PASPORT 단자에 연결한다. 기본 샘플링 속도를 유지한다.
7. 8-pin DIN 연장 케이블(UI-5218)을 이용하여 홀 효과 장치의 'Interface-Hall Voltage'로 표시된 포트를 550 또는 850 인터페이스의 아날로그 입력 단자 A에 연결한다. ※ 참고: 홀 전압  $U_H$ 는 8-pin DIN 커





넥터의 출력 전압에 비례한다.(0~2000mV vs. 0~2V) 550 또는 850 인터페이스 사용 시, 소프트웨어에서 홀 전압이 자동으로 보정된다.

8. 8-pin DIN 연장 케이블(UI-5218)을 이용하여 홀 효과 장치의 'Interface-Hall Current'로 표시된 포트를 550 또는 850 인터페이스의 아날로그 입력 단자 B에 연결한다. ※ 참고: 홀 전류  $I_H$ 는 8-pin DIN 커넥터의 출력 전압에 비례한다.(0~10mA vs. 0~1V). 550 또는 850 인터페이스 사용 시, 소프트웨어에서 홀 전류가 자동으로 보정된다.
9. 광학 캐리어를 천천히 밀어, 홀 프로브가 자기장의 중심에 올 때까지 조절 홀더를 조정합니다.
10. 인터페이스 및 홀 효과 장치의 전원을 켜다.
11. 전류계 측정치가 0이 될 때까지 Excitation Current( $I_M$ ) 조절 손잡이(0-1000mA)를 돌린다.
12. 전류계 측정치가 0이 될 때까지 Hall Current( $I_S$ ) 조절 손잡이(0-10mA)를 돌린다.

### \*\*소프트웨어 구성

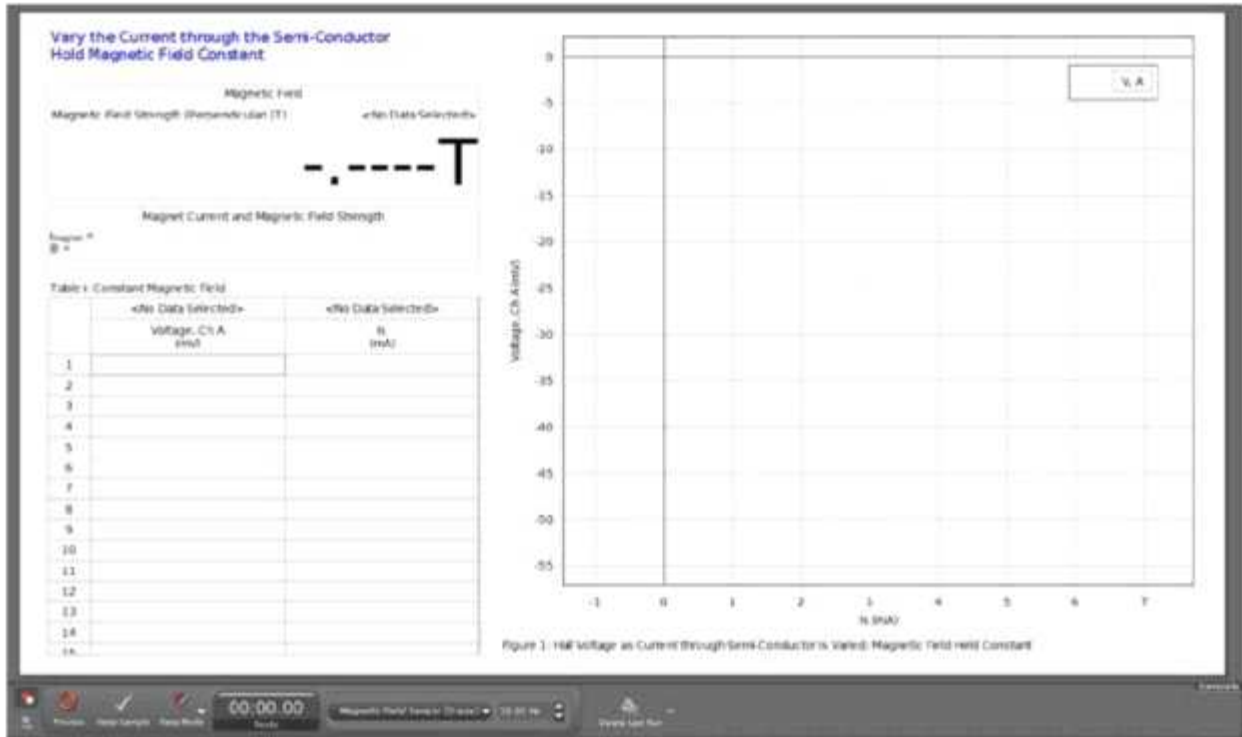
1. PASCO Capstone 소프트웨어를 실행한 다음, Hardware Setup에서 홀 전압 센서와 홀 전류 센서, 자기장 센서가 자동으로 인식되었는지 확인한다.



2. 홀 전압  $U_H$  vs. 홀 전류  $I_S$ 의 그래프를 만든다. 전압의 단위를 mV, 전류의 단위를 mA로 선택한다. 그래프 속성에서, 'Show Connected Lines' 항목을 체크 해제한다.
3. 자기장 센서의 Magnetic Field Strength(Perpendicular) 측정값에 대한 수치 표시 상자(Digits)를 생성한다.

4. 홀 전압(mV)과 홀 전류(mA)에 대한 표를 생성한다.

5. 하단 컨트롤 막대에서 샘플링 모드를 Continuous Mode 대신 Keep mode로 변경한다.



일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

일반물리학및실험1 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

[실험1] 자기장 세기가 일정할 때

이 실험에서는 자기장을 일정하게 유지한 상태에서, 반도체에 통하는 전류를 변화시킬 것이다.



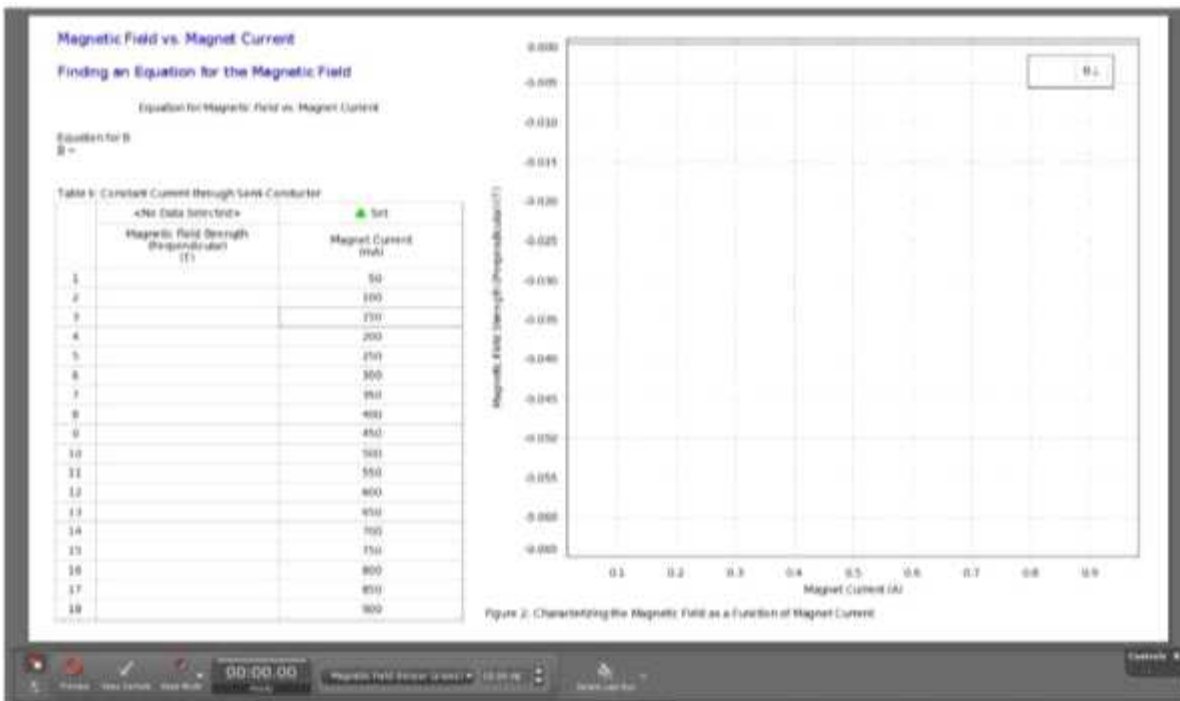
1. 위쪽 탭에서 Vary Current 탭으로 진입한다.
2. Excitation Current를 0~1000mA 사이 원하는 값 (ex: 500mA)으로 설정한다. (자기장 세기 일정)
3. Hall Current를 0으로 맞춘다.
4. Capstone 화면에서 하단의 적색 링 Preview 버튼을 클릭 후, Hall current를 0.5mA로 조절한다. 이후 Keep 버튼을 눌러 Voltage와 Current를 기록한다. 이후 Hall current를 0.5mA씩 증가시키면서 5.5mA까지 측정을 반복한다.
5. 초록색 홀 프로브를 자석 밖으로 옮긴다.
6. Excitation Current를 0~1000mA 사이 다른값 (ex: 300mA)로 설정한 다음, 과정 3-4를 반복한다.

[실험 2] 반도체에 흐르는 전류가 일정할 때

1번 실험은 자기장을 일정하게 유지한 채 Hall current의 변화를 살펴보았다.

이 실험에서는 반도체에 흐르는 전류 Hall current를 유지한 채 전자석을 통하는 전류를 변화시켜 자기장의 세기를 변화시킬 것이다. 각 데이터 포인트에 대한 자기장을 측정하는 대신, 자기장을 전류의 함수로 나타낼 것이다.

1. 자기장 세기와 자석 코일에 흐르는 전류 사이의 관계를 알아내기 위해 상단의 Vary B 탭에 진입한다.

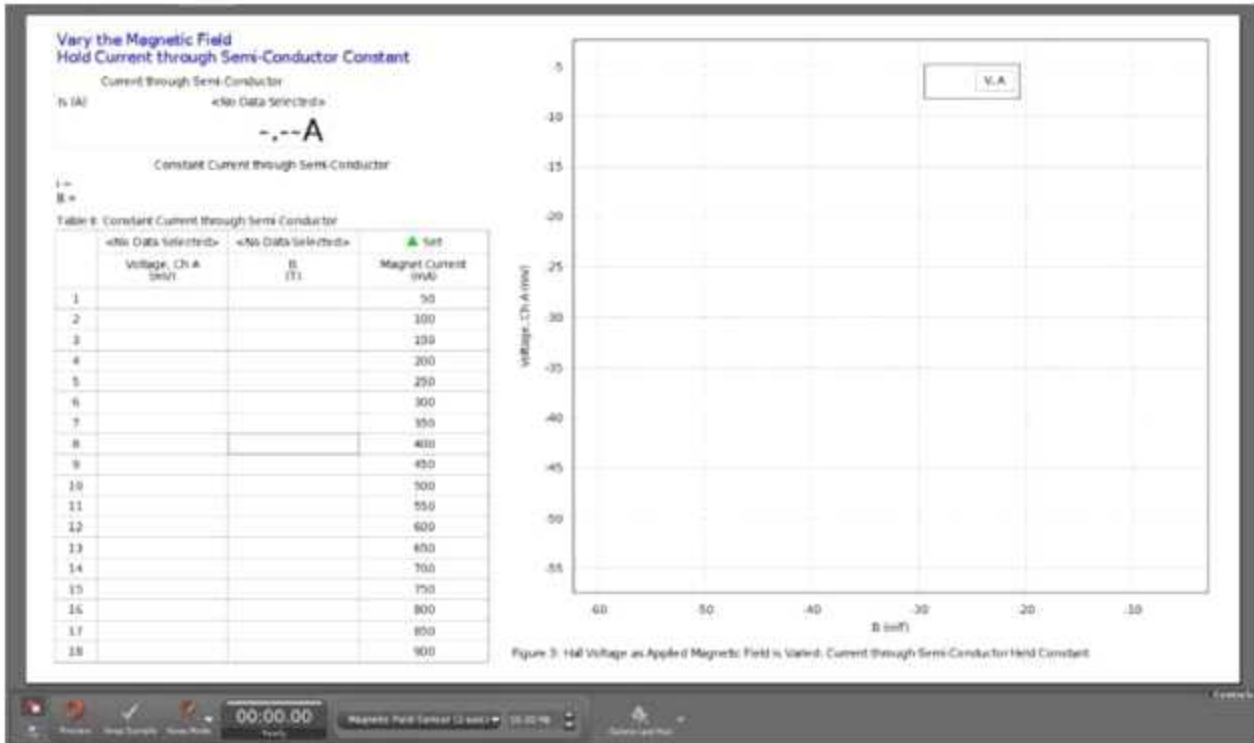


2. 홀 전류를 0으로 맞춘 다음, 자기장 센서 옆면의 영점 조정(Tare) 버튼을 누른다. 자기장 센서를 자석의 중심으로 이동시킨다.
3. Preview 버튼을 클릭한다. 홀 효과 장치의 디지털 측정치를 관찰하면서, 전자석에 흐르는 전류인 여기 전류(Excitation Current)를 50mA로 조정한다. Keep 버튼을 클릭한다.
4. 여기 전류를 표에 입력해둔 각각의 값으로 조정하고, 각 값에 대하여 Keep 버튼을 클릭한다. Stop 버튼을 누른다. 여기 전류를 다시 0으로 돌려 자석이 지나치게 뜨거워지지 않도록 한다.
5. 그래프에서, 3차 함수로 곡선 맞춤(cubic curve fit)을 적용한다. 캡스톤의 계산기에서, 자기장 B에 대한 다음 식을 생성한다.

$$B = a + b \cdot I + c \cdot I^2 + d \cdot I^3 \quad (\text{단위 : T})$$

여기서  $I = [\text{Magnet Current (A)}]$  이고, a, b, c, d는 3차 곡선 맞춤의 계수이다.

6. 홀 전압(mV) vs. B(mT)의 그래프를 생성한다. 그래프 속성에서 'Show Connected Lines' 항목을 체크 해제한다.



7. 홀 전류  $I_H$ 에 대한 수치 표시 상자(Digits)를 생성한다.
8. 홀 전압(mV) 및 계산식 B, 수동 입력 데이터 Magnet Current(mA)에 대한 표를 생성한다.
9. 홀 전류  $I_H$ (0-10mA)를 원하는 값(예: 5mA)으로 설정한다.
10. 여기 전류  $I_H$ (0-1000mA)이 0으로 맞추어져 있는지 확인한다.
11. 샘플링 속도를 10Hz로 설정한다.
12. 자기장 센서를 자석 바깥으로 옮긴 다음, 홀 효과 프로브를 자석의 중심으로 이동시킨다.
13. Preview 버튼을 클릭한 다음, 여기 전류를 50mA로 증가시키고 Keep 버튼을 누른다. 여기 전류를 50mA씩 900mA까지 증가시키면서 측정을 반복한다. Stop 버튼을 누른다.
14. 홀 전류(0-10mA)를 다른 값(예: 8mA)으로 설정한 다음, 과정 10-13을 반복한다.
15. 그래프에서 V vs. B 데이터에 대하여 선형 맞춤(Linear Fit)을 적용한다.